

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-250890

(43)Date of publication of application : 06.09.2002

(51)Int.Cl.

G02B 26/10  
B81B 3/00  
B81C 1/00  
G02B 5/08  
G02B 7/182  
G02B 26/08

(21)Application number : 2001-047298

(71)Applicant : CANON INC

(22)Date of filing : 22.02.2001

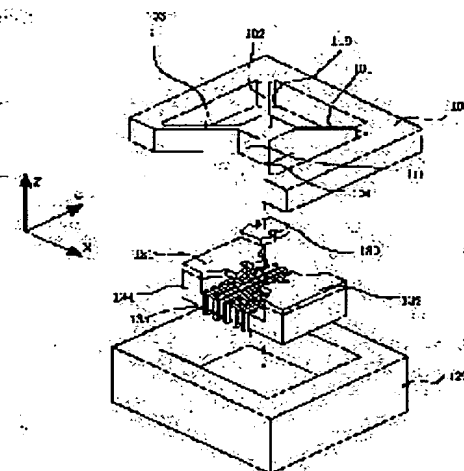
(72)Inventor : YASUDA SUSUMU

(54) MICROSTRUCTURE, MICRO-OPTICAL DEFLECTOR, OPTICAL SCANNING DISPLAY DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME

(57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a microstructure applicable to a micro-optical deflector, etc., which are capable of maintaining high rigidity except in the oscillation direction of an oscillating body.

**SOLUTION:** The microstructure has a substrate 106 and the oscillation body 110. The oscillating body 110 is supported to the substrate 106 by  $\geq 3$  springs 101 to 104, such as flat plate springs, extending to connect the substrate 106 and the oscillating body 110 to each other. The plural springs 101 to 104 are so arranged that the extension lines of their major axes intersect with each other at one point within a common plane. The springs have such a form that the direction where the springs are most liable to be bent is parallel to the common plane. As a result, the oscillating body 110 is freely oscillatably and elastically supported around the axis perpendicular to the common plane.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

**Family list**

✓ 1 family member for: **JP2002250890**

Derived from 1 application

[Back to JP2002250890](#)

**1 MICROSTRUCTURE, MICRO-OPTICAL DEFLECTOR, OPTICAL  
SCANNING DISPLAY DEVICE AND METHOD OF MANUFACTURING  
THE SAME**

**Inventor:** YASUDA SUSUMU

**Applicant:** CANON KK

**EC:**

**IPC:** G02B26/08; B81B3/00; B81C1/00 (+15)

**Publication info:** JP2002250890 A - 2002-09-06

---

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-250890

(P2002-250890A)

(43) 公開日 平成14年9月6日(2002.9.6)

| (51) Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I           | テームコード*(参考)       |
|---------------------------|-------|---------------|-------------------|
| G 0 2 B 26/10             | 1 0 4 | G 0 2 B 26/10 | 1 0 4 Z 2 H 0 4 1 |
| B 8 1 B 3/00              |       | B 8 1 B 3/00  | 2 H 0 4 2         |
| B 8 1 C 1/00              |       | B 8 1 C 1/00  | 2 H 0 4 3         |
| G 0 2 B 5/08              |       | G 0 2 B 5/08  | A 2 H 0 4 5       |
|                           |       |               | C                 |

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 13 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2001-47298(P2001-47298)

(22) 出願日 平成13年2月22日(2001.2.22)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 安田 進

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ  
ノン株式会社内

(74) 代理人 100086483

弁理士 加藤 一男

F ターム(参考) 2H041 AA12 AB14 AC05 AC06 AC08  
AZ08

2H042 DA01 DA12 DA20 DC08 DE07

2H043 CA08 CD04 CE00

2H045 AB03 AB06 AB10 AB38 AB73

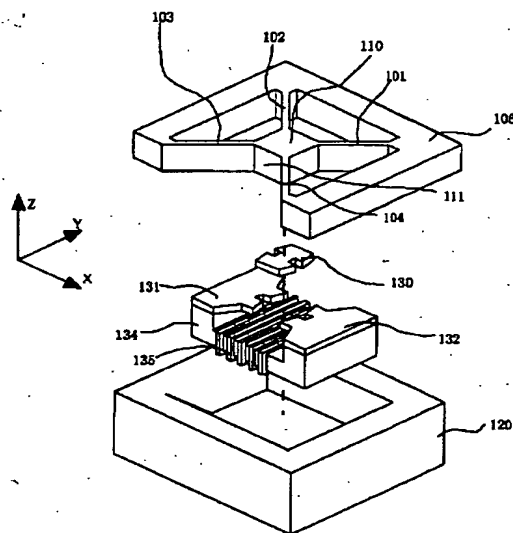
BA02

(54) 【発明の名称】 マイクロ構造体、マイクロ光偏向器、光走査型表示装置、及びそれらの製造方法

(57) 【要約】

【課題】 揺動体の揺動方向以外の剛性を高く保つことができるマイクロ光偏向器等に適用できるマイクロ構造体である。

【解決手段】 マイクロ構造体は、基板106と、揺動体110を有し、揺動体110は、基板106と揺動体110間を繋ぐように伸びた3つ以上の平板バネなどのバネ101~104によって基板106に対して支持されている。複数のバネ101~104は、その長軸の延長線が共通平面内にあって1点で交わるように配置され、最も撓みやすい方向が該共通平面に平行である様な形態を有し、これにより、揺動体110が該共通平面に垂直な軸回りに揺動自由に弾性支持される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】基板と、少なくとも 1 つの揺動体を有し、前記揺動体は、前記基板と揺動体間を繋ぐように伸びた少なくとも 3 つ以上の複数のバネによって前記基板に対して支持されており、前記複数のバネは、その長軸の延長線が共通平面内にあって 1 点で交わるように配置され、最も撓みやすい方向が該共通平面に平行である様な形態を有し、これにより、前記揺動体が該共通平面に垂直な軸回りに揺動自由に弾性支持されていることを特徴とするマイクロ構造体。

【請求項 2】前記バネは平板バネであることを特徴とする請求項 1 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 3】前記複数のバネの長軸の延長線が前記揺動体の慣性主軸で交わるように配置されていることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 4】前記複数のバネと前記揺動体が共通の単結晶材料基板から一体に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 5】前記複数のバネと前記揺動体が、エッチング加工により、単結晶シリコンから一体に形成されていることを特徴とする請求項 4 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 6】前記複数のバネと前記揺動体が、平板状基板を深堀りエッチングすることで形成されて、その外面を画する面が該平板状基板面とこの面に対する垂直面から成ることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 7】前記複数のバネの角部が等方性エッチングで軽く丸くされて、そこへの応力集中が緩和されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 8】前記複数のバネと前記揺動体が、電気メッキ法により、金属材料にて一体に形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れかに記載の構造体。

【請求項 9】前記揺動体が一つであることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 10】前記複数のバネが 3 つ或いは 4 つであることを特徴とする請求項 1 乃至 9 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 11】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置され、各揺動体が、その外側の揺動体或いは前記基板に対して、夫々の複数のバネによって規定される共通平面に垂直な軸回りに揺動自由に弾性支持されていることを特徴とする請求項 1 乃至 10 の何れかに記載のマイクロ構造体。

【請求項 12】前記垂直な軸が互いに角度を成して交差していることを特徴とする請求項 11 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 13】前記角度が 90 度であることを特徴とする請求項 12 に記載のマイクロ構造体。

【請求項 14】請求項 1 乃至 13 の何れかに記載のマ

クロ構造体と、前記揺動体に設けられた光反射手段と、前記基板に対して前記揺動体を相対的に回転変位させる回転変位アクチュエータを有することを特徴とするマイクロ光偏向器。

【請求項 15】前記回転変位アクチュエータが、前記揺動体に結合された可動コアと、前記基板に結合された固定コアと、該固定コアを周回するコイルからなる電磁アクチュエータであることを特徴とする請求項 14 に記載のマイクロ光偏向器。

10 【請求項 16】前記回転変位アクチュエータが、前記揺動体に結合された可動電極と、前記基板に結合された固定電極とからなる静電アクチュエータであることを特徴とする請求項 14 に記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 17】前記回転変位アクチュエータが、前記バネに結合された圧電素子であることを特徴とする請求項 14 に記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 18】前記回転変位アクチュエータの駆動周波数が、前記揺動体の揺動の共振周波数近辺であることを特徴とする請求項 14 乃至 17 のいずれかに記載のマイクロ光偏向器。

20 【請求項 19】前記光反射手段が、光反射面或いは回折格子であることを特徴とする請求項 14 乃至 18 のいずれかに記載のマイクロ光偏向器。

【請求項 20】請求項 1 乃至 13 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記基板と前記揺動体の相対回転変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とするマイクロ力学量センサ。

30 【請求項 21】請求項 1 乃至 13 の何れかに記載のマイクロ構造体と、前記基板に対して前記揺動体を相対的に回転変位させる回転変位アクチュエータを有することを特徴とするマイクロアクチュエータ。

【請求項 22】請求項 14 乃至 19 の何れかに記載のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源と、前記光源の変調と前記マイクロ光偏向器の揺動体の回転変位を制御する制御手段を有することを特徴とする光走査型表示装置。

【請求項 23】請求項 6 に記載のマイクロ構造体の製造方法であって、材料基板の面にマスク層を成膜する工程と、前記面のマスク層を前記揺動体とバネと基板の形態に応じてパターニングする工程と、前記材料基板を深堀りエッチングする工程とを含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

40 【請求項 24】前記バネの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和する工程を更に含むことを特徴とする請求項 23 に記載のマイクロ構造体の製造方法。

【請求項 25】請求項 8 に記載のマイクロ構造体の製造方法であって、基板の上に種電極を成膜する工程と、該種電極の上に犠牲層を成膜し、該基板に固定される部分の形態に応じて該犠牲層をパターニングする工程と、該種電極と犠牲層の上に厚膜レジスト層を成膜し、該基板

上に形成されるパーツの部分の形態に応じて該厚膜レジスト層をパターンニングする工程と、該厚膜レジスト層を型として、前記種電極層の上に金属層を電解メッキする工程と、前記厚膜レジスト層、犠牲層、種電極層の順に除去を行う工程とを含むことを特徴とするマイクロ構造体の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、マイクロマシンないしマイクロ構造体の分野に関するものである。より詳しくは、マイクロマシニング技術で作製する光偏向器等に関するものである。

【0002】

【従来の技術】機械要素を小型化しようとする、と、体積力よりも、表面力の占める割合が大きくなり、摩擦の影響が通常の大きさの機械よりも大きくなることは良く知られている。そのため、マイクロマシンの設計においては、摺動部や回転部を極力少なくするように考慮するのが一般的である。

【0003】軸回りに揺動する部材を有する光偏向器の従来例を説明する。図12は、米国特許第4317611号明細書に開示されたマイクロマシニング技術で作製される静電光偏向器の斜視図を示している。図13は、その内部構造を説明するために、上記光偏向器を分解して表示した図である。また、図14と図15は、それぞれ、図12の切断線1003と1006におけるシリコン薄板1020の断面図を示している。

【0004】上記光偏向器において、絶縁性材料からなる基板1010には、凹み部1012が形成されている。凹み部1012の底部には、一対の駆動電極1014、1016およびミラー支持部1032が配置されている。シリコン薄板1020には、トーションバー1022、1024とミラー1030が一体に形成されている。ミラー1030は、表面に光の反射率の高い物質がコーティングされており、トーションバー1022、1024により揺動自由に支持されている。そして、シリコン薄板1020は、駆動電極1014、1016と所定の間隔を保つように基板1010上に対抗配置されている。

【0005】ここで、シリコン薄板1020は、電気的に接地されている。従って、駆動電極1014、1016に交互に電圧を印加することで、ミラー1030に静電引力を作用させて、ミラー1030をトーションバー1022、1024の長軸の回りに揺動させられる。

【0006】トーションバー1022、1024の断面形状は、図15に示すような台形である。ところが、このような断面形状のトーションバーを有するマイクロ構造体は、トーションバーが撓みやすいため、外部の振動を拾ってしまった、トーションバーの軸がぶれてしまい、正確な駆動ができないという問題点があった。

【0007】そのため、このような光偏向器を光走査型ディスプレイに適用した場合に、外部振動によって像がぶれたり、スポット形状が変化してしまうという問題点があった。これは、光走査型ディスプレイを持ち運び可能な形態にした場合に、より大きな問題となる。

【0008】また、図16は、特開平10-197819号公報にて開示された共振型の光偏向器である。この光偏向器において、ミラー2011は、2本のトーションバー2001、2002で支持棒2006に対して揺動自由に支持されている。このトーションバーの取り付け部は、ミラー2011の重心からずれている。ミラー2011、トーションバー2001、2002、及び支持棒2006は、シリコンウエハーをエッチングすることで一体に形成される。支持棒2006には圧電素子2021が接合されている。

【0009】本光偏向器において、圧電素子2021に駆動電圧を加えると、圧電素子2021は伸縮を行い、Z軸方向に振動する。この振動は支持棒2006に伝達される。ミラー2011は、トーションバーの取り付け部が重心から外れているため、支持棒2006がZ方向に振動することで、回転モーメントを受ける。この圧電素子2021の駆動周波数をミラー2011の共振周波数の近辺に設定することで、大きな偏向角をとることができる。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】これら従来の光偏向器においては以下のような問題点があった。まず、偏向角を大きくしようとする、と、トーションバーに作用する最大応力を材料の許容応力内に収めるために、トーションバーを長くする必要がある。しかし、トーションバーを長くすると、トーションバーの長軸に垂直な方向の剛性が低くなってしまい、振動等の外乱の影響を受けやすくなってしまいう問題点があった。

【0011】また、これら従来の光偏向器の駆動力発生源は、ミラーに対して回転モーメントを生じるだけでなく、トーションバーの撓む方向にも力を発生する。このことを、以下で詳しく説明する。

【0012】まず、米国特許第4317611号明細書に開示された構造においては、駆動するためにミラー1030と駆動電極1016の間に電圧を印加すると、図17(a)に示すように、トーションバーからL離れた場所に静電引力Fが作用する。すると、図17(b)に示すように、トーションバー1022と1024に、右回りのモーメント $F \times L$ と下向きの力Fが作用する。

【0013】また、特開平10-197819号公報にて開示された光偏向器においては、図18(a)に示すように、圧電素子2021でミラー2011に加速度aを生じさせると、ミラー2011には、単位長さあたり $ma$ の慣性力が作用する。ここで、mは、ミラー2011単位長さあたりの質量である。L<sub>1</sub><L<sub>2</sub>だとする

と、図18(b)に示すように、トーションバー2001と2002には、右回りのモーメント $maL_2^2/2 - maL_1^2/2$ と、下向きの力 $ma(L_1 + L_2)$ が作用する。

【0014】つまり、これら従来の光偏向器においては、駆動時にトーションバーをねじる方向に作用するモーメントと同時に、トーションバーが撓む方向に力が作用する。そのため、トーションバーが撓み、その結果、光の偏向角や光路長が変動してしまうことで正確な光偏向が行えないという問題点があった。

【0015】また、特開平10-197819号公報にて開示された光偏向器においては、トーションバーのねじれの中心と重心がずれているために、高速駆動時に振動が生じてしまうという問題点もあった。

【0016】本発明の目的は、このような問題点に鑑み、揺動体の揺動方向以外の剛性を高く保つことができるマイクロ光偏向器、マイクロ力学量センサ、マイクロアクチュエータ等に適用できるマイクロマシンないしマイクロ構造体、その製造方法を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体は、基板と、少なくとも1つの揺動体を有し、前記揺動体は、前記基板と揺動体間を繋ぐように伸びた少なくとも3つ以上の複数のバネによって前記基板に対して支持されており、前記複数のバネは、その長軸の延長線が共通平面内にある1点で交わるように配置され、最も撓みやすい方向が該共通平面に平行である様な形態を有し、これにより、前記揺動体が該共通平面に垂直な軸回りに揺動自由に弾性支持されていることを特徴とする。3つ以上の複数のバネが必要なのは、2つ以下では前記共通平面が一義的に決まらず運動が不安定になるからである。前記バネは、典型的には、前記共通平面に垂直な平面を持つ1枚の平板バネである。前記揺動体の前記共通平面に垂直な方向の動きを確実に防止する必要がある場合や、バネの断面が方形、円形などでバネが前記共通平面に垂直な方向にも撓む傾向にある様な場合には、例えば、前記1点を通り前記共通平面に垂直な方向に前記揺動体から軸棒を出し、これを回動自由に軸受けで支えるという様な構造も採り得る。しかし、この方法は構成が複雑になるので、前記バネとしては、上記したような平板バネを用いるのが好ましい。

【0018】この基本構成に基づいて、以下の如きより具体的な形態が可能である。前記複数のバネの長軸の延長線が前記揺動体の慣性主軸で交わるように配置されている様にするのが好適である。こうすれば、高速駆動時に揺動体の振動の生じないマイクロ構造体を確実に実現できる。

【0019】前記複数のバネと揺動体は、単結晶シリコン、水晶などの共通の単結晶材料基板から一体に形成さ

れ得る。典型的には、前記基板、複数のバネ、揺動体は、共通の単結晶シリコン基板からエッチングなどで一体的に形成され得る。素材として単結晶材料を使用することで、機械的なQ値の高い構造を実現することができる。単結晶材料としては、入手の容易で機械特性に優れた(すなわち、比較的軽量でありながら物理的強度、耐性、寿命に優れた)単結晶シリコンが好ましい。

【0020】前記複数のバネと前記揺動体は、単結晶シリコン基板やポリシリコン基板などの平板状基板をICP-RIE(誘導結合プラズマ反応性イオンエッチング)法などを用いて深掘りエッチングすることで形成されて、その外面を画する面が該平板状基板面とこの面に対する垂直面から成る様にもできる。

【0021】前記複数のバネの角部は、ガスや酸により等方性エッチングで軽く丸くされて、そこへの応力集中が緩和されてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

【0022】前記複数のバネと揺動体は、電気メッキ法により、金属材料にて一体に形成されてもよい。

【0023】マイクロ構造体の形態としては、典型的には、前記揺動体が一つであり、3つ或いは4つのバネによって揺動体が前記共通平面に垂直な軸回りに揺動自由に弾性支持される。この形態は後述の実施例に説明されている。

【0024】前記揺動体が複数であり、該複数の揺動体が入れ子式に配置され、各揺動体が、その外側の揺動体或いは前記基板に対して、夫々の複数のバネによって規定される共通平面に垂直な軸回りに揺動自由に弾性支持されている形態も採り得る。前記垂直な軸は、互いに90度などの角度を成して交差している。

【0025】更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ光偏向器は、上記のマイクロ構造体と、前記揺動体に設けられた光反射手段と、前記基板に対して前記揺動体を相対的に回転変位させる回転変位アクチュエータを有することを特徴とする。単結晶材料をバネの素材に使用することで、より壊れにくく、より小型化が可能で、共振駆動したときに振動振幅が大きくエネルギー効率の高いマイクロ光偏向器を実現できる。

【0026】前記回転変位アクチュエータは、揺動体に結合された可動コアと、基板に結合された固定コア(軟磁性体で形成される)と、該固定コアを周回するコイルからなる電磁アクチュエータ(図1の実施例参照)であったりする。前記揺動体に接合された可動コアは軟磁性体或いは硬磁性体の永久磁石で形成されたりする。両者では駆動原理が異なり、前者では、軟磁性体の磁極は決まっておらず、固定コアに磁束が発生する時には磁気回路の磁束を切る軟磁性体の断面積の増す方向に磁束内へ軟磁性体が吸引される駆動力が起り、磁束消滅時にはそれから解放されるのに対して、後者では、硬磁性体の磁極は決まっており、固定コアと可動コアの異或いは同

磁極間の磁力（吸引力或いは反発力）が駆動力である。

【0027】また、前記回転変位アクチュエータは、前記揺動体に結合された可動電極と、前記基板に結合された固定電極とからなる静電アクチュエータ（図8の実施例参照）であったり、前記パネに結合された圧電素子（図6の実施例参照）であったりする。

【0028】前記回転変位アクチュエータの駆動周波数が、前記揺動体の揺動の共振周波数近辺であれば、共振でより大きな揺動角を得ることができる。

【0029】前記光反射手段としては、光反射面或いは回折格子があり、後者では1つのビームを複数のビーム（回折光）として偏向することもできる。

【0030】更に、上記問題点を解決するための本発明の回転加速度測定などをするマイクロ力学量センサは、上記のマイクロ構造体と、前記基板と揺動体の相対回転変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とする。変位検出手段としては、従来公知のものを使用して、例えば、静電容量の変化を電圧変化で検知して基板と揺動体の相対回転変位を検出するものがある。例えば、基板側と揺動体側に扇状の金属部を設けておいて、これらの対向面積が変化して静電容量の変化するのを検知すればよい。静電容量の変化を電圧変化で検知する具体例としては、特開平8-145717、特開2000-65664、特開2000-292434号公報などに開示されている。

【0031】更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロアクチュエータは、上記のマイクロ構造体と、前記基板に対して前記揺動体を相対的に回転変位させる回転変位アクチュエータを有することを特徴とする。回転変位アクチュエータの例は上記した通りである。

【0032】更に、上記問題点を解決するための本発明の光走査型表示装置は、上記のマイクロ光偏向器と、変調可能な光源（半導体レーザなど）と、該光源の変調とマイクロ光偏向器の揺動体の回転変位を制御する制御手段を有することを特徴とする。

【0033】更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の製造方法は、単結晶シリコン基板などの材料基板の面にマスク層を成膜する工程と、前記面のマスク層を前記揺動体とパネと基板の形態に応じてパターンニングする工程と、前記材料基板をICP-RIEなどを用いて深堀りエッチングする工程とを含むことを特徴とする。

【0034】このマイクロ構造体の製造方法において、前記パネの角部を軽く等方性エッチングして、そこを丸くし、そこへの応力集中を緩和してもよい。

【0035】更に、上記問題点を解決するための本発明のマイクロ構造体の他の製造方法は、基板の上に種電極を成膜する工程と、種電極の上に犠牲層を成膜し、基板に固定される部分の形態に応じて犠牲層をパターンニング

する工程と、種電極と犠牲層の上に厚膜レジスト層を成膜し、基板上に形成されるパーツの部分の形態に応じて厚膜レジスト層をパターンニングする工程と、厚膜レジスト層を型として、種電極層の上に金属層を電解メッキする工程と、厚膜レジスト層、犠牲層、種電極層の順に除去を行う工程とを含むことを特徴とする。

【0036】

【作用】本発明のマイクロ光偏向器などのマイクロ構造体の動作について、具体例を用いて以下に説明する。図3は、本発明のマイクロ構造体の原理を説明する図である。この具体例では、揺動体910が4本の平板パネ901~904で弾性支持されている。それらの平板パネの延長線は1点で交わるように配置されている。既に述べたように、平板パネの枚数は4枚に限られるものではなく、3枚以上なら何枚でもよい。

【0037】本発明のマイクロ構造体においては、図4に示すような形状にパネが変形することで、揺動体の揺動運動を許容することができる。

【0038】図5は、本発明の揺動体910と1本の平板パネ901をモデル化した図である。図に示したように、揺動体が $\phi$ 回転したとすると、平板パネの揺動体側の端の変位角 $\theta_1$ と変位 $y_1$ は、以下で与えられる。

$$\theta_1 = \phi$$

$$y_1 = r \phi$$

$r$  : 揺動体半径

【0039】一方、一端を固定した平板パネの自由端に、力 $F$ と曲げモーメント $M$ が働いたときの、自由端の変位角 $\theta_2$ と変位 $y_2$ は、以下で与えられる。

$$\theta_2 = -l^2 / (2EI) \cdot F + l / (EI) \cdot M$$

$$y_2 = l^3 / (3EI) \cdot F - l^2 / (2EI) \cdot M$$

【0040】ここで、 $l$ は平板パネの長さ、 $E$ はヤング率、 $I$ は平板パネの断面2次モーメントである。 $I$ は、以下で与えられる。

$$I = t b^3 / 12$$

$b$  : 平板パネ厚

$t$  : 平板パネ高

【0041】 $\theta_1$ と $\theta_2$ 、 $y_1$ と $y_2$ がそれぞれ等しいという条件から、以下が得られる。

$$M = [E b^3 (2l + 3r) t] / 6 l^2 \cdot \phi$$

$$F = [E b^3 (l + 2r) t] / 2 l^3 \cdot \phi$$

【0042】これらから、1枚の平板パネから揺動体に作用する反作用モーメント $M_{total}$ は以下となる。

$$M_{total} = -M - rF = -k_r \phi$$

$$k_r = [E b^3 (l^2 + 3lr + 3r^2) t] / 3 l^3$$

ここで、 $k_r$ は、ねじりバネ定数である。

【0043】また、平板パネの揺動体端と固定端の応力をそれぞれ $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ とすると

$$\sigma_1 = M / Z = 6 / t b^2 \cdot M = [E b (2l + 3r)] / l^2 \cdot \phi$$

$$\sigma_2 = (M - Fl) / Z = 6 / t b^2 \cdot (M - Fl) = -[E b (l + 3r)] / l^2 \cdot \phi$$

であるので、応力は平板バネの揺動体端で最大になることがわかる。

$$\sigma_{\max} = \sigma_1 = [Eb_z(2l_z + 3r_z)]/l_z^2 \cdot \phi$$

【0044】また、揺動体の慣性モーメント $I_z$ 、平板バネの本数を $n$ とすると、共振周波数 $f$ は、以下で与えられる。

$$f = 1/2\pi \cdot (nk_z / I_z)^{1/2}$$

【0045】本発明のマイクロ構造体は、このような関係式を考慮して、用途に応じて具体的な設計が行なわれる。本発明のマイクロ光偏向器などのマイクロ構造体は、平板バネなどのバネの最も撓みやすい方向が基板に水平な方向であるので、他の方向には剛性が高い構造になっている。すなわち、本発明によれば、揺動体の揺動方向以外の剛性が高いマイクロ光偏向器等を提供することができる。

【0046】また、本発明のマイクロ構造体においては、典型的には、揺動体は複数の平板バネの長軸の延長線の交点を中心として揺動するように弾性的に支持される。そのため、より望ましくは、複数の平板バネの長軸の延長線の交点を揺動体の慣性主軸に一致させることで、高速駆動時に振動の生じないマイクロ光偏向器等を実現できる。

【0047】また、より望ましくは、揺動体に純粋な偶力をかけることで、より正確な駆動が可能なマイクロ光偏向器等のマイクロ構造体を提供できる。更に、より望ましくは、前記揺動体の揺動の共振周波数近辺で回転変位アクチュエータを駆動することで、より大きなマイクロ光偏向器の偏向角を得ることができる。

【0048】

【発明の実施の形態】以下に、本発明の実施の形態を明らかにすべく、図面を参照しつつ実施例を説明する。

【0049】〔実施例1〕図1は、本発明の実施例1の電磁型光偏向器を説明するために分解して示した図である。

【0050】本実施例の光偏向器において、揺動体110の一面(手前の側面)には光の反射率が高い物質がメッキされており、ミラー111となっている。ほぼ立方体状の揺動体110は、4つの平行に伸びた辺において支持体106に4本の平板バネ101~104で揺動自由に弾性的に支持されている。平板バネ101~104の長軸は共通の平面内にあって、その延長線は、揺動体110の慣性主軸と直角に1点で交わるように配置されている。また、平板バネ101~104の面は、該共通の面に対して垂直になっている。

【0051】これら揺動体110、支持体106、平板バネ101~104は、シリコンウェハ(単結晶シリコン或いはポリシリコンであり、面方位は問わない)をICP-RIE法等の方法で、深掘りエッチングすることによって、一体に形成される。本実施例においては、1mm厚のシリコンウェハを加工して作製した。ミラー111の

寸法は1mm角とし、平板バネ101~104の長さを2mm、厚さを40 $\mu$ mとした。深掘りエッチング後に、ガスや酸により等方性エッチングを行い、角部の角を丸くしてもよい。こうすれば、これらの部分への応力集中を緩和できる。

【0052】揺動体110の下側には、図1と図2で示すような形状のパーマロイで作られた可動磁極130が結合されている。可動磁極130を包み込む様に断面C字形の固定コア134が設けられ、固定コア134には、コイル135が周回されており、このコア134の両端には固定磁極131と132が結合されている。この固定磁極131と132は、可動磁極130を挟み込むようにして配置されている。そして、支持体106と固定コア134は、基台120に結合されている。

【0053】可動磁極130及び固定磁極131と132は、200 $\mu$ m厚のパーマロイ板を機械加工することで作製し、可動磁極130は、揺動体110の底面に接着した。

【0054】図2を用いて、本実施例の光偏向器の動作を説明する。コイル135に電流を流さない状態においては、図2(a)に示すように、可動磁極130は、固定磁極131と132に対して或る角度を持って静止している。コイル135に電流を流すと、コア134が励磁され、固定磁極131、132間に磁束が生じる(図2(b))。図2(b)においては、便宜上固定磁極131と132がそれぞれS極とN極に励磁されている様子を図示している。すると、可変リクタンスモータと同様の原理によって、可動磁極130に回転モーメントが生じ、回転変位が生じる。この回転変位の速度を揺動体110の共振周波数の近辺に設定すると(上述の共振周波数 $f$ の関係式参照)、揺動体110が共振を起こす。この状態で、ミラー111に光線を入射し、光を走査する。

【0055】本実施例の共振型光偏向器は、ミラーの揺動方向以外の剛性が高いため、従来のトーションバー方式の共振型光偏向器に比べて、振動等の外乱の影響を受けにくいという特徴がある。

【0056】また、本光偏向器においては、コイル135に通電して回転モーメントを生じさせたときに、純粋な偶力が生じるため、従来よりも正確な光偏向が可能になる。また、本光偏向器においては、揺動の中心が揺動体110の慣性主軸と一致しているので、高速駆動時にも振動が生じない。

【0057】〔実施例2〕図6は、本発明の実施例2の圧電型光偏向器を説明するための斜視図である。図7はその動作を説明する図である。

【0058】本実施例の圧電型光偏向器において、直方体状の揺動体210には、その外面にミラー211が接合されている。また、揺動体210は、支持体206に3本の平板バネ201~203で揺動自由に弾性的に支



持されている。平板バネ 201 と 202 は、ミラー 211 の接合された揺動体 210 の外面と平行に伸び、平板バネ 203 は、ミラー 211 の接合された外面と反対側の揺動体 210 の面の中央部から伸びている。平板バネ 201 ~ 203 の平面は、1 点で交わるこれらの長軸で規定される平面に対して垂直になっている。これらの揺動体 210、支持体 206、平板バネ 201 ~ 203 は、シリコンウェハを ICP-RIE 法等の方法で、深堀りエッチングすることによって、一体に形成される。本実施例においては、750  $\mu$ m 厚のシリコンウェハを使用し、

【0059】また、2本の平板バネ 201 と 202 の支持体 206 に連結されている側には、図 6 に示すような配置で、圧電素子 221 と 222 が接着されている。これらの圧電素子は、電圧を印加すると、図 6 中の X 軸の方向に伸縮するようになっている。

【0060】本実施例の光偏向器において、圧電素子 221 と 222 に交互に電圧を印加して伸縮動作を起こさせると、図 7 に示すように、揺動体 206 は支持体 206 に対して回転変位を起こす。この回転変位の速度を揺動体 210 の共振周波数の近辺に設定すると、揺動体 210 が共振を起こし、圧電素子 221 と 222 の変位量よりも大きく揺動する。この状態で、ミラー 211 に光線を入射すると、光を走査することができる。

【0061】本実施例の共振型光偏向器も、ミラーの揺動方向以外の剛性が高いため、従来よりも振動等の外乱の影響を受けにくいという特徴がある。また、本光偏向器においては、圧電素子を駆動して回転モーメントを生じさせたときに、平板バネ 201 ~ 203 の長軸の交わる 1 点を通りこれらの長軸で規定される平面に対して垂直な軸の回りにはほぼ純粋な偶力が生じるため（図 7 参照）、従来よりも正確な光偏向が可能になる。尚、この実施例では、該垂直な軸と揺動体 210 の慣性主軸は若干ずれているがその量は小さいので実用上は問題ない。必要なら、若干作製が面倒になるが深堀りエッチングの際のパターニングを変えて、ミラー 211 の接合される揺動体 210 の面を図 6 で示す位置より外に出して平板バネ 201 と 202 が揺動体 210 の両側面の中央部から伸びる様にし、上記垂直な軸と揺動体 210 の慣性主軸を正確に一致させてもよい。

【0062】【実施例 3】第 3 実施例の静電光偏向器を図 8 乃至図 10 を用いて説明する。図 8 と図 9 は、それぞれ、第 3 実施例の静電光偏向器の上面図と側面図であり、図 10 は図 8 の切断線における断面図である。

【0063】第 3 実施例において、平板状のシリコン基板 306 の上には、平板バネアンカー 331 ~ 334 と、固定電極アンカー 321、322 が固定されている。平板バネアンカー 331 ~ 334 には、それぞれ平板バネ 301 ~ 304 の一端が固定されている。平板バ

ネ 301 ~ 304 は、その幅方向が基板 306 の面に垂直になるように設置されている。そして、平板バネ 301 ~ 304 は、その長手方向の延長線が一点で交わるようになっている。これらの線で規定される平面が基板 306 の面と平行になっている。平板バネ 301 ~ 304 の他端は、揺動体 310 を揺動自由に支持している。揺動体 310 の慣性主軸は、上記延長線が交わる一点を通りこれらの線で規定される上記平面に垂直な軸（後記の揺動の中心軸である）と一致している。平板バネ 301 ~ 304 は、すべて同寸法で、長さが 1 mm、幅が 200  $\mu$ m、厚さが 50  $\mu$ m である。

【0064】固定電極アンカー 321 と 322 は、それぞれ固定電極 323 と 324 をシリコン基板 306 に対して支持している。固定電極 323、324 には、それぞれくし型固定電極 325 と 326 が結合されている。揺動体 310 には、くし型可動電極 312 と 313 が結合されている。そして、くし型固定電極 325 と 326 は、それぞれ、くし型可動電極 312 と 313 と噛み合うように配置されている。

【0065】また、揺動体 310 には、その慣性主軸に当該ミラーの中心線を合わせてミラー 311 が垂直に連結されている。ミラー 311 の寸法は、500  $\mu$ m 角とした。

【0066】この様に、平板バネアンカー 331 ~ 334 と、固定電極アンカー 321、322 のみが、シリコン基板 306 に結合されており、他のパーツは、シリコン基板 306 に接触しないように支持されている。

【0067】電圧源 350 は、くし型固定電極 325、326 とくし型可動電極 312、313 の間に電圧を印加するように電気的に結合されている。電圧源 350 によって、くし型固定電極 325、326 とくし型可動電極 312、313 の間に電圧を印加すると、それぞれの間に静電引力が作用する。すると、揺動体 310 に対して、上記慣性主軸である揺動の中心軸の回りに回転モーメントが生じる。くし型可動電極 312、313 に作用する静電引力は、大きさが同じで向きが逆なので、純粋な偶力のみが生じる。

【0068】平板バネアンカー 331 ~ 334 等のパーツは、電気メッキを用いてシリコン基板 306 上に一括で作製される。図 8 の切断線 380 における断面図である図 10 を用いて、本実施例のマイクロ静電光偏向器の作製方法を説明する。

【0069】1. 先ず、シリコン基板 306 の上に種電極 360 を成膜する（a）。本実施例においては、種電極 360 として金を 1  $\mu$ m 蒸着した。

【0070】2. 次に、種電極 360 の上に犠牲層 361 を成膜し、平板バネアンカー 331 ~ 334 と固定電極アンカー 321、322 の部分の犠牲層 361 を除く様なパターニングを行う（b）。本実施例では、犠牲層 361 としてリン酸ガラス（PSG : Phospho-Silica G

lass) を  $5\mu\text{m}$  成膜した。

【0071】3. 続いて、厚膜レジスト層 362 を成膜し、各パーツの部分の厚膜レジスト層 362 を除く様なパターニングを行う (c)。本実施例では、厚膜レジスト層 362 として MicroChem 社製 SU-8 を  $250\mu\text{m}$  成膜した。

【0072】4. 厚膜レジスト層 362 を型として、種電極層 360 の上に金属層 363 を電解メッキする (d)。本実施例では、ニッケルを  $205\mu\text{m}$  メッキし、平板バネ 301~304 の幅が  $200\mu\text{m}$  になるようにした。

【0073】5. 厚膜レジスト層 362、犠牲層 361、種電極層 360 の順に除去を行う (e)。その後、揺動体 310 に空いている穴にミラー 311 を挿入し、固定する。

【0074】本実施例によれば、揺動体 310 が、Z 軸 (上記慣性主軸) 回りの回転方向に十分なコンプライアンスを有し、他の軸回りには十分高い剛性を有する構造を実現できるので、振動等の外乱に強いマイクロ光偏向器を提供できる。

【0075】また、本実施例によれば、静電力を用いて駆動する際に、揺動体 310 に純粋な偶力が生じるので、従来よりも正確な光偏向を行うことができる。また、高速駆動時に振動が生じないので、従来よりも正確な光偏向を行うことができる。

【0076】[実施例 4] 図 20 は、実施例 4 の光走査型ディスプレイを説明する図である。X 光偏向器 401 と Y 光偏向器 402 は、実施例 1 などの光偏向器と同様のものである。コントローラ 409 は、X 光偏向器 401 と Y 光偏向器 402 を制御して、レーザ光線 410 をラスタ状に走査し、表示する情報に応じてレーザ発振器 405 を変調することで、スクリーン 407 上に画像を 2 次元的に表示する。

【0077】本発明の光偏向器を光走査型ディスプレイに適用することで、エネルギー効率が高い光走査型ディスプレイを実現することができる。

【0078】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、マイクロ光偏向器などのマイクロ構造体において、揺動体の揺動方向のコンプライアンスを確保して、他の方向の剛性を高く保つことができる。

【0079】また、高速駆動時に、振動の生じにくいマイクロ構造体を提供できる。また、ミラー部に回転モーメントを生じさせる際に、他方向への力を生じないため、偏向角や光路長が変動しにくいマイクロ光偏向器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】実施例 1 の電磁型光偏向器を説明するための分解斜視図である。

【図 2】実施例 1 の電磁型光偏向器の動作を説明する図

である。

【図 3】具体例を用いて本発明の作用を説明する図である。

【図 4】具体例を用いて本発明の作用を説明する図である。

【図 5】本発明の原理を説明する図である。

【図 6】実施例 2 の圧電型光偏向器を説明するための斜視図である。

【図 7】実施例 2 の圧電型光偏向器の動作を説明する図である。

【図 8】実施例 3 の静電型光偏向器を説明するための上面図である。

【図 9】実施例 3 の静電型光偏向器を説明するための側面図である。

【図 10】実施例 3 の静電型光偏向器の作製方法を説明する断面図である。

【図 11】実施例 4 の光走査型ディスプレイを説明する図である。

【図 12】従来の静電光偏向器を説明する斜視図である。

【図 13】従来の静電光偏向器を説明する分解図である。

【図 14】従来の静電光偏向器を説明する断面図である。

【図 15】従来の静電光偏向器を説明するトーションバ一部分の断面図である。

【図 16】従来の圧電光偏向器を説明する斜視図である。

【図 17】従来の静電光偏向器の問題点を説明する図である。

【図 18】従来の圧電光偏向器の問題点を説明する図である。

【符号の説明】

101~104、201~203、301~304、901~904 平板バネ

106、206、306&#9; 基板

110、210、310、910&#9; 揺動体

111、211、311&#9; ミラー

120&#9; 基台

130&#9; 可動磁極

131、132&#9; 固定磁極

134&#9; 固定コア

135&#9; コイル

221、222&#9; 圧電素子

312、313&#9; くし型可動電極

321、322&#9; 固定電極ア

ンカー

323、324&#9; 固定電極

325、326&#9; くし型固定

電極

331~334

ンカー

350

360

361

362

層

363

401

402

405

平板バネア

電圧源

種電極

犠牲層

厚膜レジスト

金属層

X光偏向器

Y光偏向器

レーザ発振器\*

\*407

409

410

1010

1014、1016

1020

1022、1024、2001、2002 トーションバ

1030、2011

1032

2006

2021

スクリーン

コントローラ

レーザ光線

絶縁性基板

駆動電極

シリコン薄板

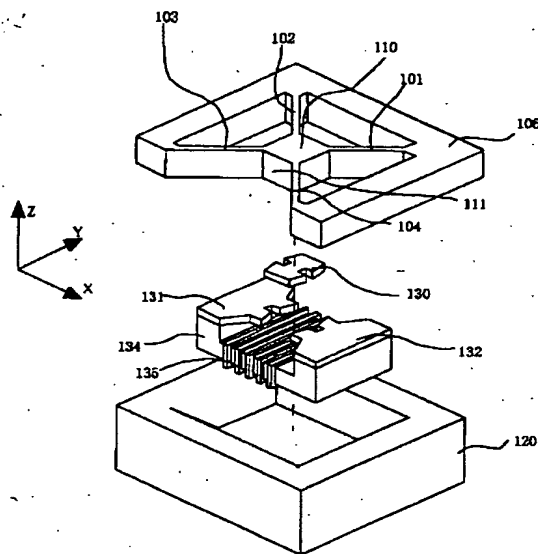
ミラー

ミラー支持部

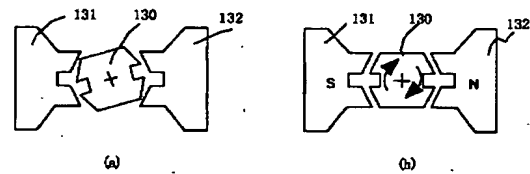
支持枠

圧電素子

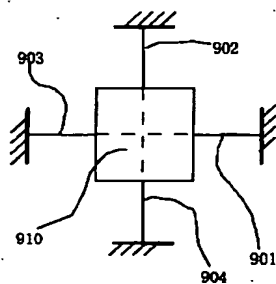
【図1】



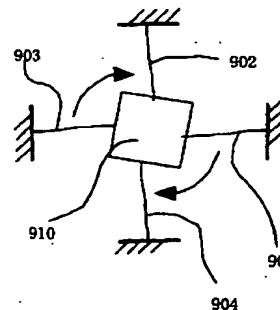
【図2】



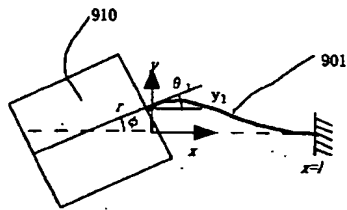
【図3】



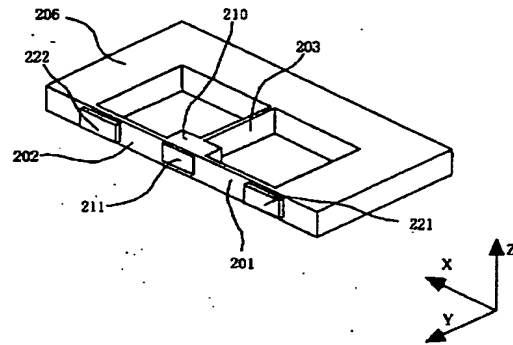
【図4】



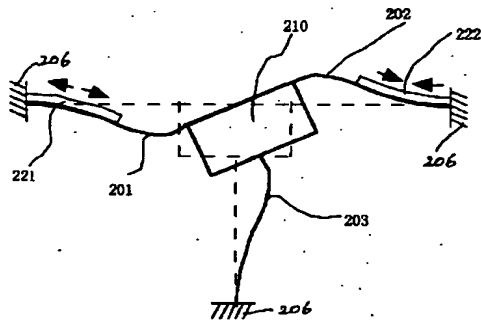
【図 5】



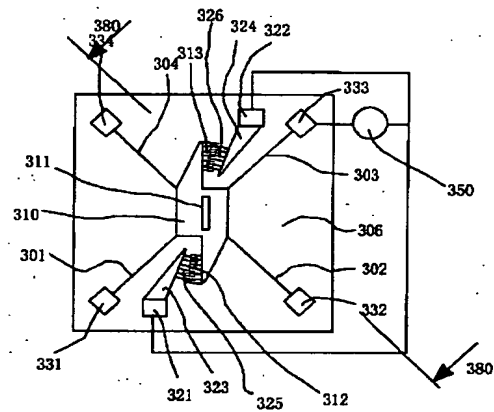
【図 6】



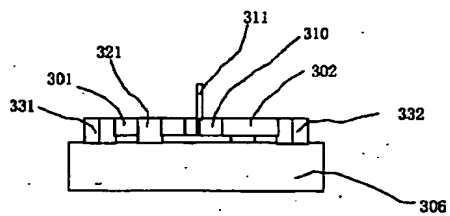
【図 7】



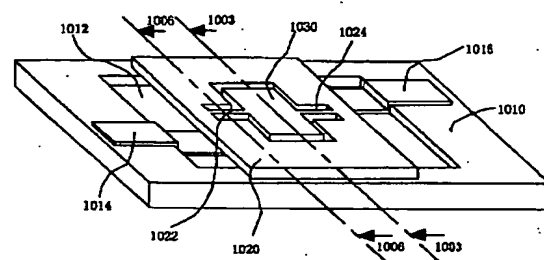
【図 8】

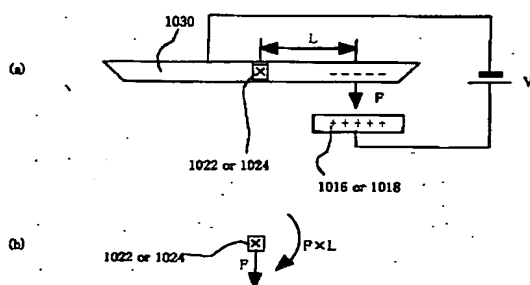
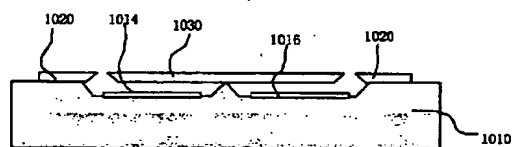
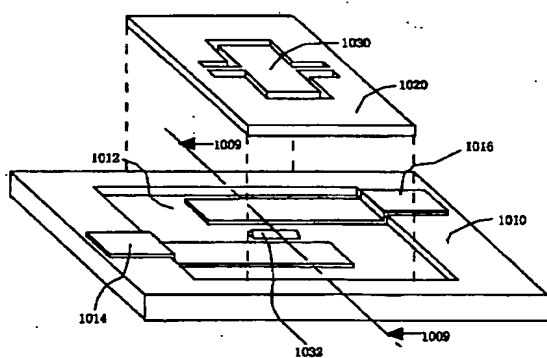
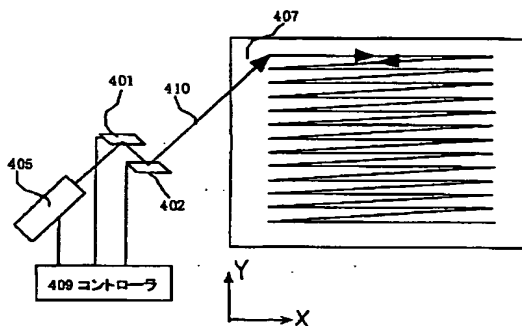
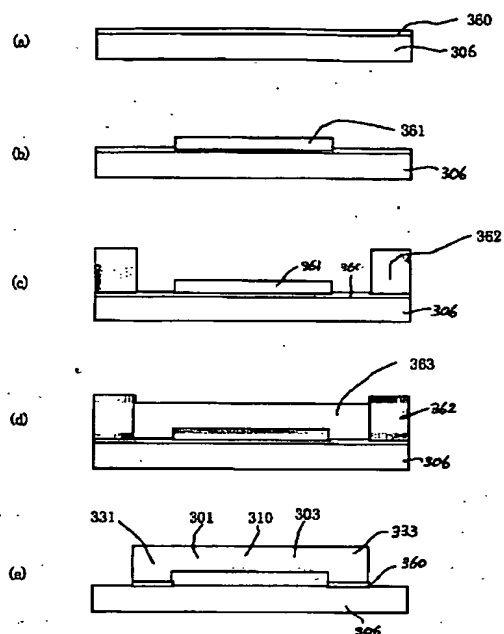


【図 9】

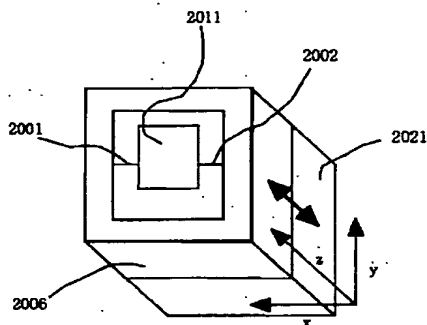


【図 12】

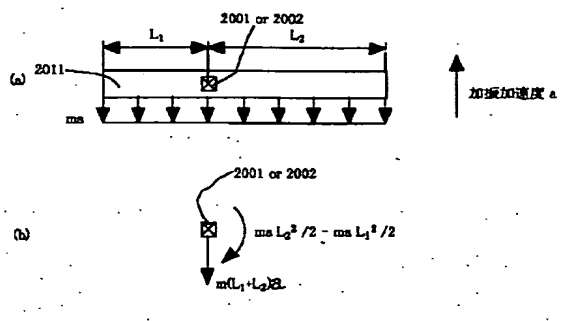




【図 16】



【図 18】



## 【手続補正書】

【提出日】平成13年2月23日（2001. 2. 23）

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0038

【補正方法】変更

【補正内容】

【0038】図5は、本発明の揺動体910と1本の平板バネ901をモデル化した図である。図に示したように、揺動体が $\phi$ 回転したとすると、平板バネの揺動体側の端の変位角 $\theta_1$ と変位 $y_1$ は、以下で与えられる。

$$\theta_1 = \phi$$

$$y_1 = r_R \phi$$

$r_R$  : 揺動体半径

## 【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0039

【補正方法】変更

【補正内容】

【0039】一方、一端を固定した平板バネの自由端に、力 $F$ と曲げモーメント $M$ が働いたときの、自由端の変位角 $\theta_2$ と変位 $y_2$ は、以下で与えられる。

$$\theta_2 = -l_R^2 / (2EI) \cdot F + l_R / (EI) \cdot M$$

$$y_2 = l_R^3 / (3EI) \cdot F - l_R^2 / (2EI) \cdot M$$

## 【手続補正3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0040

【補正方法】変更

【補正内容】

【0040】ここで、 $l_R$ は平板バネの長さ、 $E$ はヤング

率、 $I$ は平板バネの断面2次モーメントである。 $I$ は、以下で与えられる。

$$I = t_R b_R^3 / 12$$

$b_R$  : 平板バネ厚

$t_R$  : 平板バネ高

## 【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0042

【補正方法】変更

【補正内容】

【0042】これらから、1枚の平板バネから揺動体に作用する反作用モーメント $M_{total}$ は以下となる。

$$M_{total} = -M - r_F F = -k_R \phi$$

$$k_R = [Eb^3 (l^2 + 3l r + 3r^2) t] / 3l^3$$

ここで、 $k_R$ は、ねじりバネ定数である。

## 【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正内容】

【0043】また、平板バネの揺動体端と固定端の応力をそれぞれ $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ とすると

$$\sigma_1 = M / Z = 6 / t_R b_R^2 \cdot M = [Eb_R (2l_R + 3r_R)] / l_R^2 \cdot \phi$$

$$\sigma_2 = (M - Fl_R) / Z = 6 / t_R b_R^2 \cdot (M - Fl_R) = -[Eb_R (l_R + 3r_R)] / l_R^2 \cdot \phi$$

であるので、応力は平板バネの揺動体端で最大になることがわかる。

$$\sigma_{max} = \sigma_1 = [Eb_R (2l_R + 3r_R)] / l_R^2 \cdot \phi$$

## 【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

|   |                     |        |
|---|---------------------|--------|
| 【補正対象項目名】0044                                   | *カー                 |        |
| 【補正方法】変更  | 323、 <u>324</u>     | 固定電極   |
| 【補正内容】  | 325、 <u>326</u>     | くし型固定電 |
| 【0044】また、揺動体の慣性モーメント $I_{\perp}$ 、平板パ           | 極                   |        |
| ネの本数を $n$ とすると、共振周波数 $f$ は、以下で与えら               | 331～ <u>334</u>     | 平板バネアン |
| れる。   | カー                  |        |
| $f=1/2\pi \cdot (nk_{\perp} / I_{\perp})^{1/2}$ | 350                 | 電圧源    |
| 【手続補正7】   | 360                 | 種電極    |
| 【補正対象書類名】明細書                                    | 361                 | 犠牲層    |
| 【補正対象項目名】符号の説明                                  | 362                 | 厚膜レジスト |
| 【補正方法】変更  | 層                   |        |
| 【補正内容】  | 363                 | 金属層    |
| 【符号の説明】   | 401                 | X光偏向器  |
| 101～104、201～203、301～304、9                       | 402                 | Y光偏向器  |
| 01～904平板バネ                                      | 405                 | レーザ発振器 |
| 106、206、 <u>306</u>                             | 407                 | スクリーン  |
| 110、210、310、 <u>910</u>                         | 409                 | コントローラ |
| 111、211、 <u>311</u>                             | 410                 | レーザ光線  |
| <u>120</u>                                      | 1010                | 絶縁性基板  |
| <u>130</u>                                      | 1014、1016           | 駆動電極   |
| 131、 <u>132</u>                                 | 1020                | シリコン薄板 |
| <u>134</u>                                      | 1022、1024、2001、2002 | トーションパ |
| <u>135</u>                                      | ー                   |        |
| 221、 <u>222</u>                                 | 1030、2011           | ミラー    |
| 312、 <u>313</u>                                 | 1032                | ミラー支持部 |
| 極   | 2006                | 支持枠    |
| 321、 <u>322</u>                                 | 2021                | 圧電素子   |
|   | 固定電極アン*             |        |

フロントページの続き

|                           |      |               |              |
|---------------------------|------|---------------|--------------|
| (51)Int. Cl. <sup>7</sup> | 識別記号 | F I           | ターマコード' (参考) |
| G 0 2 B 7/182             |      | G 0 2 B 26/08 | E            |
| 26/08                     |      | 7/18          | Z            |